

C17e

PUB-NO: FR002643717A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: FR 2643717 A1

TITLE: Method and device for measuring the thermal resistance
of a body with a low thermal resistance

PUBN-DATE: August 31, 1990

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
AYMAMI, JUAN	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TELEMECANIQUE ELECTRIQUE	FR

APPL-NO: FR08902857

APPL-DATE: February 24, 1989

PRIORITY-DATA: FR08902857A (February 24, 1989)

INT-CL (IPC): G01N025/18

EUR-CL (EPC): G01N025/18

US-CL-CURRENT: 374/44

ABSTRACT:

In the measurement device according to the invention, the sample 11, 12 is interposed between two thermal conductors 4, 9, respectively connected to a hot source 1 and to a cold source 6. Each of these two thermal conductors 4, 9 is fitted with a pair of thermoelectric detectors 16, 17, 20, 21 making it possible to measure a temperature difference $\Delta T1 = T1 - T2$ and $\Delta T2 = T2 - T3$. The thermal resistance R of the sample is obtained by calculating the heat flux W passing through it on the basis of the difference $\Delta T1$ and the thermal resistance $RT = \Delta T2/W$, then by calculating the thermal resistance R from the thermal resistance RT using a correspondence table.

The invention makes it possible to measure the thermal resistance of the various layers of a stack on which the silicon chip of a semiconductor component is mounted. <IMAGE>

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 643 717

②1 N° d'enregistrement national :

89 02857

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 N 25/18.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 24 février 1989.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 35 du 31 août 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : LA TELEMECANIQUE ELECTRIQUE, So-
ciété anonyme. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Juan Aymami.

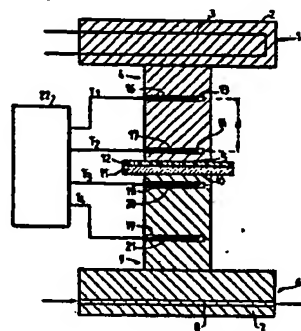
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Moutard.

⑤4 Procédé et dispositif de mesure de la résistance thermique d'un corps présentant une faible résistance thermique.

⑤7 Dans le dispositif de mesure selon l'invention, l'échantillon 11, 12 est interposé entre deux conducteurs thermiques 4, 9 respectivement reliés à une source chaude 1 et à une source froide 6. Chacun de ces deux conducteurs thermiques 4, 9 est muni d'un couple de détecteurs thermoélectriques 16, 17, 20, 21 permettant de mesurer un écart de température $\Delta T_1 = T_1 - T_2$ et $\Delta T_2 = T_2 - T_3$. La résistance thermique R de l'échantillon est obtenue en calculant la puissance calorifique W qui le traverse à partir de l'écart ΔT_1 et la résistance thermique $R_1 = \Delta T_2 / W$, puis en déduisant la résistance thermique R de la résistance thermique R_1 grâce à une table de correspondance.

L'invention permet de mesurer la résistance thermique des différentes couches d'un empilage sur lequel est montée la puce de silicium d'un composant semi-conducteur.



FR 2 643 717 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

- 1 -

PROCEDE ET DISPOSITIF DE MESURE DE LA RESISTANCE THERMIQUE
D'UN CORPS PRESENTANT UNE FAIBLE RESISTANCE THERMIQUE.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de mesure de la résistance thermique d'un corps présentant une faible résistance thermique.

5 Elle s'applique notamment, mais non exclusivement, à la mesure de la résistance thermique des couches de matières électriquement isolantes présentes dans les empilages utilisés dans des composants à semi-conducteurs, par lesquels s'évacuent habituellement les calories dissipées par les
10 circuits électroniques de ces composants.

On rappelle, à ce sujet, que dans la plupart des semi-conducteurs de puissance utilisés à l'heure actuelle, notamment pour la commande de courant, la "puce" de silicium sur
15 laquelle est réalisée la (ou les) jonction(s) P-N est habituellement montée sur un empilage comprenant au moins les couches successives suivantes :

- une couche incluant les éléments conducteurs électriques
20 (généralement en cuivre) qui assurent les interconnexions de puissance,
- une couche électriquement isolante, et

- une semelle, généralement en cuivre, destinée à supporter le composant entier et à le fixer à un dissipateur thermique (radiateur), cette semelle devant être isolée électriquement vis-à-vis des conducteurs, par la couche isolante.

5

Cet empilage doit donc permettre le meilleur transfert thermique possible entre la puce de silicium et la semelle, tout en assurant une isolation acceptable entre les conducteurs et la semelle. Or, comme on le sait, les matières électriquement isolantes sont habituellement de mauvais conducteurs thermiques, ce qui rend particulièrement difficile à résoudre le problème de l'obtention simultanée des deux propriétés précédemment évoquées.

15 Pour tenter de surmonter ce problème, on a pensé à utiliser des couches en matières électriquement isolantes aussi fines que possible et, en particulier, des couches constituées par des dépôts d'oxydes ou de céramiques effectuées sur un substrat métallique (par exemple sur la semelle ou sur une
20 couche métallique intercalaire) par divers procédés de dépôt tels que, notamment, des dépôts physiques en phase vapeur (PVD), des dépôts chimiques en phase vapeur (CVD), des procédés de sputtering, etc...

25 La mise au point d'une telle solution implique donc des études détaillées du comportement thermique des empilages utilisant de telles couches isolantes.

Il s'avère que l'étude de ce comportement par un bilan
30 thermique global de l'empilement ne permet pas d'obtenir des informations suffisamment précises sur les propriétés thermiques de la couche isolante.

Or, jusqu'ici, on ne connaît pas de moyens efficaces et
35 pratiques pour effectuer la mesure de la résistance thermique que présente une couche mince (de l'ordre de quelques microns) dans le sens de son épaisseur (sens dans lequel elle se trouve traversée par la chaleur émanant de la puce

de silicium et dans lequel elle offre sa plus faible résistance thermique) ou même de matériaux fortement conducteurs présentant une épaisseur comprise entre 0,1 et 1 mm.

5 L'invention a donc notamment pour but de résoudre ce problème.

Elle propose, d'une façon plus générale, un procédé de mesure de la résistance thermique d'un corps selon un axe déterminé, ce procédé consistant à faire traverser le corps par un flux de chaleur produit en régime permanent entre une source froide et une source chaude, ce flux étant canalisé selon ledit axe entre lesdites sources et ledit corps par deux conducteurs thermiques respectifs, à calculer la puissance calorifique W traversant le corps, à partir de la mesure d'un premier écart de température ΔT_1 entre deux emplacements de l'un des conducteurs axialement espacés l'un de l'autre d'une distance "d" déterminée, à mesurer un deuxième écart de température ΔT_2 entre deux emplacements des conducteurs situés de part et d'autre dudit corps et à calculer la résistance thermique R à partir de la puissance calorifique W et du deuxième écart de température ΔT_2 à l'aide d'une relation du type :

25
$$R = \frac{\Delta T_2}{W}$$

Il s'avère que ce procédé convient particulièrement bien à la mesure de la résistance thermique se présentant sous la forme d'une plaque présentant deux surfaces parallèles dont l'une porte une couche mince en matériau électriquement isolant tel qu'un oxyde ou une céramique.

Dans ce cas, les conducteurs thermiques pourront consister en des barreaux réalisés en un matériau thermiquement conducteur (par exemple en cuivre) ; ces barreaux pourront présenter une section droite de forme quelconque, par exemple cylindrique. Cette dernière solution permet au barreau d'avoir une surface latérale minimale et donc des pertes

thermiques minimales au niveau de cette surface. Il est clair cependant que dans le cas où, de toutes façons, ces pertes latérales sont négligeables, la forme de la section droite du barreau n'a aucune importance.

5

Chacun de ces barreaux présente une extrémité thermiquement solidaire de l'une des deux sources, tandis que son autre extrémité est terminée par une surface de section droite venant s'appliquer sur une face correspondante du corps.

10

Par ailleurs, ce barreau pourra comprendre deux puits radiaux axialement décalés d'une distance "d" permettant de recevoir chacun un détecteur de température, par exemple un thermocouple.

15

Un mode d'exécution d'un dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention sera décrit ci-après, à titre d'exemple non limitatif, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

20

La figure 1 est une représentation schématique d'un dispositif de mesure de la résistance thermique d'une plaquette d'un empilage de composant semi-conducteur recouverte d'une couche mince d'oxyde ou de céramique ;

25

La figure 2 est un schéma de circulation de flux, mettant en évidence les résistances thermiques parcourues en série entre la source chaude et la source froide du dispositif représenté figure 1 ;

30

La figure 3 représente un diagramme permettant de convertir la résistance thermique mesurée par le dispositif de la figure 1 en une épaisseur équivalente de cuivre ou d'argent.

35

Tel que représenté sur la figure 1, le dispositif de mesure fait intervenir :

- a) un premier ensemble, éventuellement mobile, comprenant :
- une source chaude 1 constituée par un bloc de métal 2 à l'intérieur duquel est montée une résistance chauffante électrique 3, et
 - 5 - un premier conducteur thermique constitué par un barreau cylindrique 4, par exemple en cuivre, dont une extrémité est mécaniquement et thermiquement solidaire du bloc 2 et dont l'autre extrémité est terminée par une surface de section droite 5,
- 10
- b) un deuxième ensemble, éventuellement fixe, comportant :
- une source froide 6 constituée par un bloc métallique 7 renfermant un circuit de refroidissement 8 parcouru par un fluide de refroidissement, et
 - 15 - un deuxième conducteur thermique constitué par un barreau cylindrique 9, par exemple en cuivre, dont une extrémité est mécaniquement et thermiquement solidaire du bloc 7, et dont l'autre extrémité est terminée par une surface de section droite 10.
- 20
- Le barreau 4 présente une section S égale à celle du barreau 9 et s'étend coaxialement à ce dernier. La surface cylindrique de ces deux barreaux est traitée de manière à éviter l'oxydation du cuivre.
- 25
- La plaquette 11 revêtue de la couche mince 12 électriquement isolante, dont on veut mesurer la résistance thermique, est disposée et maintenue serrée entre les deux surfaces, lesquelles présentent un état de surface tel que l'air interca-
- 30 lé au niveau des jonctions engendre une résistance thermique aussi faible que possible et qui soit reproductible lors des différentes mesures.
- Le barreau 4 est muni de deux puits radiaux 13, 14 axialement décalés d'une distance " d " et dont l'un est situé au voisinage de la surface 5. Ces deux puits 13, 14 servent de logement à deux détecteurs thermoélectriques 16, 17 (par

exemple deux thermocouples), mesurant respectivement des températures T_1 et T_2 .

De même, le barreau 9 est muni de deux puits radiaux 18, 19 axialement décalés d'une distance "d" égale à la précédente, dont l'un 18 est situé au voisinage de la surface 10. Ces deux puits 18, 19 servent également de logement à deux autres détecteurs thermoélectriques 20, 21 mesurant respectivement des températures T_3 et T_4 .

10

Les détecteurs 16, 17, 20, 21 sont reliés à un calculateur 22 permettant de déterminer la résistance thermique de l'échantillon plaquette 11/couche 12 en fonction des températures mesurées selon le processus qui sera exposé dans la 15 suite.

Il convient de noter tout d'abord que le système est dimensionné de manière à ce que les pertes thermiques par la surface latérale des barreaux soient négligeables. Compte 20 tenu du fait que la plaquette 11 présente une très faible résistance thermique et que, par ailleurs, la couche en matière isolante 12 est très mince et présente une forte résistance thermique perpendiculairement à l'axe des barreaux, en régime permanent, le flux de chaleur ϕ_1 engendré 25 dans le barreau 4 par la source 1 sera sensiblement égal au flux de chaleur ϕ_2 évacué par la source 6 et circulant dans le barreau 9.

De ce fait, la puissance W traversant l'ensemble plaquette 30 11/couche isolante 12 pourra être déterminée par le calculateur en effectuant le produit de la section S des barreaux 4, 9 par la valeur du flux $\phi = \phi_1 = \phi_2$.

Ce flux ϕ pourra être lui-même déterminé par le calculateur 35 22 en fonction des températures mesurées par les détecteurs 16, 17, 20, 21 selon la relation suivante :

$$\phi = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\lambda}{c} d} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{\lambda}{c} d}$$

relation dans laquelle : λ_c est la conductibilité thermique du cuivre.

Le calculateur 22 détermine ensuite la résistance thermique R_T présente entre les détecteurs 17 et 20 grâce à une relation du type :

$$R_T = \frac{T_2 - T_3}{W} = \left(\frac{\lambda_c d}{S} \right) \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}$$

10 Cette résistance thermique R_T consiste en la somme :

- de la résistance thermique r_o du barreau 4, entre le détecteur 17 et la surface 5,
- de la résistance thermique r_i à la jonction entre le
15 barreau 4 et l'échantillon 11, 12,
- de la résistance thermique R de l'échantillon 11, 12,
- de la résistance thermique r'_i à la jonction entre le barreau 9 et l'échantillon 11, 12, et
- de la résistance thermique r'_o du barreau 9 entre le
20 détecteur 21 et la surface 10.

Ces différentes résistances thermiques ainsi que les résistances R_o et R'_o des tronçons de barreau respectivement compris entre les détecteurs 16 et 17 et les détecteurs 20
25 et 21, ainsi que les résistances thermiques R_i et R'_i des tronçons de barreau respectivement compris entre la source 1 et le détecteur 16 et la source 6 et le détecteur 21, sont représentées sur la figure 2, sous la forme d'un schéma de circulation de flux, en regard de la figure 1.

30

La détermination de la résistance thermique R de l'échantillon 11, 12 à partir de la résistance R_T pourra être obtenue grâce à une courbe d'étalonnage du type de celle représentée sur la figure 3, qui est préalablement tracée à partir de la
35 mesure de la résistance thermique d'échantillons (par exemple en cuivre ou en argent) de conductibilité connue et d'épaisseurs différentes. Cette courbe permet de déterminer la résistance thermique R de l'échantillon sous la forme

d'une épaisseur équivalente "e" de cuivre ou d'argent, à partir de la valeur de la résistance thermique R_T mesurée.

En effet, les échanges thermiques se faisant par conduction, la résistance R_T comprend une partie constante R_i indépendante de l'échantillon et qui est égale à la somme des résistances r_o , r'_o , r_i , r'_i , et une partie proportionnelle à l'épaisseur de l'échantillon 11, 12.

10 Bien entendu, dans le cas où l'échantillon consiste, comme dans l'exemple représenté, en une plaquette 11 réalisée en un matériau de conductibilité thermique connue, par exemple en cuivre ou en argent, et présentant une épaisseur connue, cette plaquette étant recouverte par une couche électrique-
15 ment isolante 12, la résistance thermique de la couche pourra facilement se déduire en soustrayant à la résistance thermique R (déterminée éventuellement en épaisseur équivalente de cuivre ou d'argent) la résistance thermique de la plaquette 11 (ou son épaisseur de cuivre ou d'argent).

20

Il convient de rappeler que le procédé de mesure précédemment décrit, qui est basé sur la mesure d'un flux de chaleur à partir d'un écart de température, suppose que le système soit en régime stationnaire et, qu'en conséquence, les
25 sources 1 et 6 soient maintenues à une température constante. A cet effet, on pourra utiliser un système d'asservissement de ces deux sources.

Par ailleurs, les détecteurs de température 14 et 20, situés
30 près de l'échantillon 11, 12, pourront éventuellement consister en des thermocouples en "couche mince" portés directement par les surfaces 5 et 10.

Revendications

1. Procédé pour la mesure de la résistance thermique R d'un corps (11, 12) présentant une faible résistance thermique, selon un axe de conduction thermique déterminé, caractérisé en ce qu'il consiste :

- 5
- à faire circuler au travers dudit corps (11, 12) et selon ledit axe, un flux de chaleur produit en régime permanent entre une source chaude (1) et une source froide (6), ce flux étant canalisé entre lesdites sources et ledit corps
 - 10 par deux conducteurs thermiques respectifs (4, 9),
 - à calculer la puissance calorifique W traversant le corps (11, 12), à partir d'un premier écart de température ΔT_1 mesuré entre deux emplacements de l'un des conducteurs (4), axialement espacés l'un de l'autre d'une distance
 - 15 déterminée "d",
 - à mesurer un deuxième écart de température ΔT_2 entre deux régions desdits conducteurs (4, 9) respectivement situées de part et d'autre dudit corps (11, 12),
 - à calculer la résistance thermique R_T de la portion
 - 20 comprise entre les deux régions, à partir de la puissance calorifique W et du deuxième écart de température ΔT_2 , à l'aide d'une relation du type :

$$R_T = \frac{\Delta T_2}{W}$$

- 25
- à déduire de cette résistance thermique R_T , la résistance thermique R du corps, grâce à une table de correspondance ou une courbe d'étalonnage obtenue à partir de la mesure de la résistance thermique d'échantillons de conductibi-
 - 30 lité connue.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la table de correspondance (ou la courbe d'étalonnage) est obtenue à partir de la mesure de la

35 résistance thermique d'échantillons de conductibilité connue et d'épaisseurs différentes, de manière à permettre

la détermination de la résistance thermique de l'échantillon sous la forme d'une épaisseur équivalente d'une matière de conductibilité connue, à partir de la résistance thermique R_T .

5

3. Procédé pour la mesure de la résistance thermique R d'une couche mince (12) en un matériau thermiquement isolant portée par une plaquette (11) en matériau thermiquement bon conducteur de conductibilité thermique connue,

10 caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer la résistance thermique de l'ensemble plaquette/couche (11, 12) par le procédé selon l'une des revendications 1 et 2, et soustraire à cette résistance thermique, la résistance thermique de la plaquette (11).

15

4. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend :

20 a) un premier ensemble, éventuellement mobile, comportant :
- une source chaude (1) constituée par un premier bloc de métal, à l'intérieur duquel sont incorporés des moyens de chauffage (3), et

25 - un premier conducteur thermique constitué par un barreau (4), dont une extrémité est mécaniquement et thermiquement solidaire du premier bloc (2), et dont l'autre extrémité est terminée par une première surface de section droite (5),

30 b) un deuxième ensemble, éventuellement fixe, comportant :
- une source froide (6) constituée par un deuxième bloc métallique (7) renfermant un circuit de refroidissement (8), et

35 - un deuxième conducteur thermique constitué par un barreau (9), dont une extrémité est mécaniquement et thermiquement solidaire du deuxième bloc (7) et dont l'autre extrémité est terminée par une deuxième surface de section droite (10),

c) un premier couple de détecteurs thermoélectriques (16, 17) aptes à mesurer la température du premier conducteur thermique en deux emplacements axialement décalés l'un par rapport à l'autre d'une distance "d",

5

d) un second couple de détecteurs thermoélectriques (20, 21) aptes à mesurer la température du second conducteur thermique en deux emplacements axialement décalés l'un par rapport à l'autre d'une distance "d", les deux barreaux (4, 9), présentant une même section, étant réalisés en un même matériau bon conducteur, et étant disposés coaxialement l'un à l'autre de manière à venir enserrer le susdit corps (11, 12) entre lesdites première et deuxième surfaces (5, 10).

10
15

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les susdits détecteurs thermiques sont logés dans des puits axiaux (13, 14, 18, 19) réalisés dans les conducteurs thermiques au niveau des susdits emplacements.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que la température des susdites sources (1, 6) est maintenue constante grâce à un système d'asservissement.

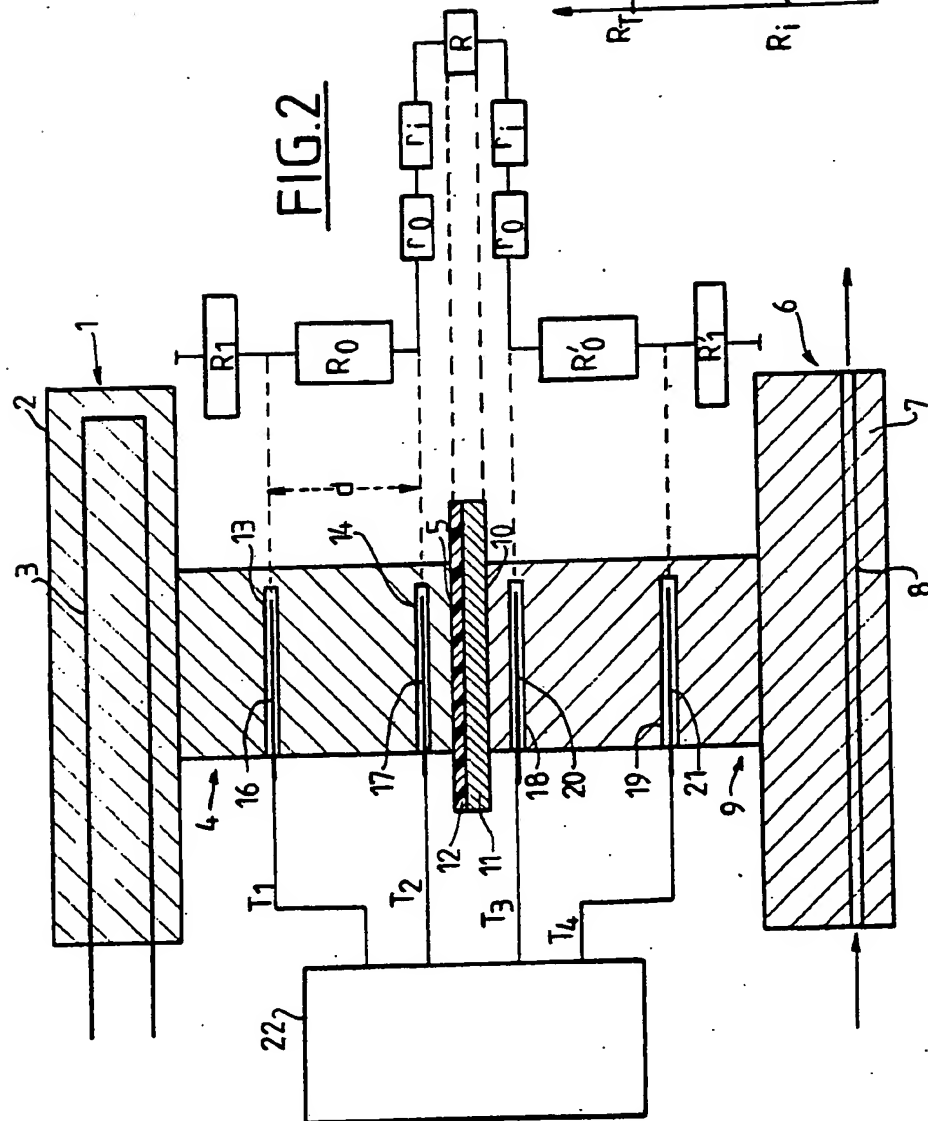
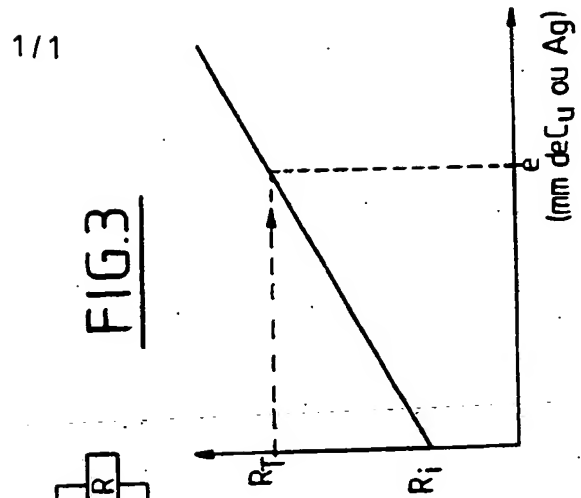
7. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que les susdits barreaux (4, 9) sont cylindriques.

30

8. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que l'un des détecteurs (17, 20) de chaque couple, est situé au voisinage de l'une desdites surfaces (5, 10).

35

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le détecteur (17, 20) situé au voisinage d'une surface (5, 10) consiste en un thermocouple en couche mince porté par cette surface (5, 10).

FIG.1FIG.2FIG.3